

51

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



Int. Cl.:

H 02 k 1/02

52

Deutsche Kl.: 21 d1, 39

10

11

21

22

43

# Offenlegungsschrift 2 346 380

Aktenzeichen: P 23 46 380.1-32

Anmeldetag: 14. September 1973

Offenlegungstag: 28. November 1974

Ausstellungspriorität: —

30

Unionspriorität

32

Datum: 23. Mai 1973

33

Land: V. St. v. Amerika

31

Aktenzeichen: 363290

54

Bezeichnung: Kollektorloser Gleichstrommotor

61

Zusatz zu: —

62

Ausscheidung aus: —

71

Anmelder: Papst - Motoren KG, 7742 St. Georgen

Vertreter gem. § 16 PatG: —

72

Als Erfinder benannt: Müller, Rolf, Dipl.-Ing., 7742 St. Georgen

Prüfungsantrag gemäß § 28 b PatG ist gestellt

DT 2 346 380

2346380

7 STUTTGART 1. DEN 7. Juni 1973

Anwaltsakte: P61.32D50

PAPST-MOTOREN KG

7742 St. Georgen  
Karl-Maier-Str. 1

Nunmehr selbständige  
Patentanmeldung

Zu beanspruchende Prioritäten

1. USA, S. N. 363.290 vom 23. Mai 73

2. ....

(richtet sich nach den jetzt noch nicht bekannten  
Anmeldedaten der Auslandsanmeldungen)

Kollektorloser Gleichstrommotor

(Zusatz zur Patentanmeldung P 22 25 442.8)

Die Erfindung betrifft einen kollektorlosen Gleichstrommotor mit zylindrischem Luftspalt (Innen- oder Außenläufermotor) und mit einem permanentmagnetischen Rotor, welcher Motor eine im Betrieb ein Lücken aufweisendes elektromagnetisches Antriebsmoment erzeugende Wicklung und Mittel zum Speichern von magnetischer Energie zur Überwindung dieser Momentenlücken aufweist, nach Patentanmeldung P 22 25 442.8.

409848/0694

Motoren dieser Art haben einen sehr einfachen Aufbau und ermöglichen auch bei kleinen Leistungen einen sehr guten Wirkungsgrad, was besonders bei batteriebetriebenen Geräten wichtig ist, um eine lange Lebensdauer der Batterien zu erreichen.

Um einen ruhigen Lauf solcher Motoren zu erreichen, ist man bestrebt, ihr an der Welle abgegebenes Moment über die ganze Rotordrehung weitgehend gleichförmig zu halten.

Nach der vorliegenden Erfindung geht man zu diesem Zweck so vor, daß bei einem Motor, dessen Rotormagnetpole jeweils eine etwa trapezförmige Magnetisierung mit schmalen Lücken zwischen den Polen aufweisen, der Winkelbereich der Rotordrehung, in dem der Rotor im Betrieb ein elektromagnetisches Antriebsmoment erfährt, etwa mit dem Winkelbereich zusammenfällt, in dem die Pollücken im Betrieb ein Gebiet in Drehrichtung abnehmenden äquivalenten Luftspalts durchlaufen, und daß der Winkelbereich der Rotordrehung, in dem der Rotor im Betrieb kein elektromagnetisches Antriebsmoment erfährt, etwa mit dem Winkelbereich zusammenfällt, in welchem die Pollücken im Betrieb ein Gebiet in Drehrichtung zunehmenden äquivalenten Luftspalts durchlaufen. Die angegebene Magnetisierung der Rotorpole ermöglicht die Erzeugung eines weitgehend gleichmäßigen elektromagnetischen Antriebsmoments, sofern der Strom im Stator über dem Stromflußwinkel nicht zu sehr schwankt. Obwohl naturgemäß auch bei einem erfindungsgemäßen Motor die eigentlichen physikalischen Wirkungen von den Polen des Rotors hervorgerufen werden, hat es sich gezeigt, daß man bei der Ausbildung des Luftspaltverlaufs im wesentlichen die Lage der Pollücken beachten muß, da im Bereich der Pole selbst die Induktion praktisch gleichförmig ist. Dies wird im folgenden ausführlich erläutert.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform ergibt sich nach einem weiteren Merkmal der Erfindung dadurch, daß zum Ausgleich des durch die Nuten des Stators im Bereich derselben bewirkten Induktionsabfalls der tatsächliche Luftspalt dort verkleinert ist. Hierdurch wird es ermöglicht, das an der Welle abgegebene Moment auch in denjenigen Winkelbereichen gleichmäßig zu halten, in denen die Pollücken über die Nutöffnungen hinweglaufen.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus dem im folgenden beschriebenen und in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines in erfindungsge-  
mäßiger Weise ausgebildeten zweipoligen Außenläufermotors  
und der zugehörigen Schaltelemente,

Fig. 2 eine Abwicklung des Luftspaltverlaufs über dem oberen  
Polbogen des Motors nach Fig. 1,

Fig. 3 zwei Schaubilder zum Erläutern einer stabilen und einer  
und 4 labilen Stellung des Rotors, und

Fig. 5 Schaubilder zum Erläutern der Wirkungsweise der An-  
ordnung nach Fig. 1.

Fig. 1 zeigt einen Außenläufermotor 10 mit einem äußeren, als durchgehender Magnetring ausgebildeten zweipoligen Rotor 11, dessen Magnetisierung etwa gemäß Fig. 5a ausgebildet ist, also mit einer praktisch konstanten Induktion  $B$  im Bereich der Pole und mit schmalen Pollücken. Ersichtlich entspricht die in Fig. 5a dargestellte Magnetisierung nicht genau der Trapezform, wird aber im Sprachgebrauch des Elektromaschinenbaus als trapezförmig bezeichnet.

Frage an den Erfinder:

Kann man über die Breite der Pollücken eine Aussage machen,  
z. B.  $10 - 20^\circ$  elektrisch?

ja p. 12

In den Fig. 1 bis 4 sind die Stellen mit praktisch konstanter Induktion für den Nordpol mit schwarzer und für den Südpol mit grauer Farbe symbolisch angedeutet, um das Verständnis der Erfindung zu erleichtern. Es ist aber ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß der gesamte Rotor 11 als radialmagnetisiertes permanentmagnetisches Teil, z. B. aus Bariumferrit, ausgebildet ist. - Die beiden Pollücken sind ebenfalls symbolisch angedeutet und mit 12 und 13 bezeichnet, Fig. 1 zeigt den Rotor 11 in einer seiner beiden stabilen Ruhestellungen, die er bei stromlosem Zustand

des Motors einnehmen kann. Diese Ruhestellungen sind durch die Form des Luftspalts und die Form der Magnetisierung B (Fig. 5a) bestimmt. Im Betrieb läuft der Rotor 11 in Richtung des Pfeiles 14.

Der Stator 15 des Motors 10 ist als Doppel-T-Anker mit einem oberen Pol 16 und einem unteren Pol 17 ausgebildet, welche beide etwa die Umrißform eines Regenschirms haben, also jeweils fast den gesamten Polbogen umspannen, und welche zwischen sich zwei Nuten 18 und 19 einschließen, in denen zwei in Reihe geschaltete Wicklungshälften 20 und 21 einer einsträngigen Wicklung angeordnet sind, deren Mittellanzapfung an einen Pluspol 22 geführt ist, und deren freie Enden mit 23 bzw. 24 bezeichnet sind. Ein Hallgenerator 25 (oder ein äquivalentes Kommutierglied) ist an der Öffnung der Nut 19 oder einer elektrisch äquivalenten Stelle am Stator 15 angeordnet.

Der Luftspalt 26 über dem Pol 16 und der Luftspalt 27 über dem Pol 17 sind erfindungsgemäß jeweils in besonderer Weise ausgebildet. Dabei kommt es naturgemäß nur auf die wirksame Luftspaltgröße an den einzelnen Stellen an, d. h., daß z. B. ein aus verschiedenen, an den einzelnen Stellen ungleiche Durchmesser aufweisenden Blechen geschichteter Stator an den einzelnen Stellen seines Umfangs jeweils eine gemittelte Spaltgröße entsprechend der Erfindung haben muß; aus diesem Grund wird der wirksame Luftspalt im folgenden auch als "äquivalenter Luftspalt" bezeichnet, und zwar im Gegensatz zum tatsächlichen Luftspalt, wie er nach außen hin in Erscheinung tritt. Für die folgende Beschreibung wird ein Stator 15 vorausgesetzt, welcher aus untereinander identischen Blechen geschichtet ist. Auch hier ergeben sich noch Unterschiede zwischen dem tatsächlichen Verlauf des Luftspalts und dem Verlauf des wirksamen oder "äquivalenten" Luftspalts, und zwar an den Öffnungen der Nuten 18 und 19, wie das im folgenden erläutert wird.

Fig. 2 zeigt eine Abwicklung des oberen Luftspalts 26, welcher punktsymmetrisch zum unteren Luftspalt 27 verläuft. In Fig. 2 ist oben der Rotor 11 und unten der Stator 15 dargestellt, also ein Polbogen von  $180^\circ$  elektrisch. Ausgehend von der Nut 18 nimmt der tatsächliche Luftspalt 26 über einem ersten Winkel  $\alpha$  (z. B.  $10 - 15^\circ$  elektrisch) monoton bis zu einer Stelle 30 zu, an welcher der Maximalwert  $d_2$  des Luftspalts 26 erreicht wird. Von da an nimmt der tatsächliche Luftspalt 26 über einem zweiten Winkelbereich  $\beta$  (z. B.  $80 - 170^\circ$  elektrisch) monoton ab bis etwa zur Öffnung der Nut 19, wo der Minimalwert  $d_1$  des tatsächlichen Luftspalts 26 erreicht wird. Von hier aus nimmt der an den Luftspalt 26 anschließende Luftspalt 27 wieder monoton bis zur nächsten Stelle 30 hin zu.

Da die Öffnungen der Nuten 18 und 19 zum Einbringen der Wicklung 20, 21 und ihrer Isolation eine bestimmte Größe haben müssen, bewirken sie, daß der äquivalente Luftspalt im Bereich dieser Nutöffnungen wesentlich größer ist und etwa den Verlauf hat, der in Fig. 2 mit 32 für die Nut 18 und mit 33 für die Nut 19 bezeichnet ist, d. h., der äquivalente Luftspalt hat sein Minimum  $d_3$  etwa an den beiden Stellen 34 und 35, welche jeweils um einen Winkel  $\gamma$  (z. B.  $10 - 40^\circ$  elektrisch) vor der zugeordneten Nutöffnung liegen. (Bei einem Motor mit geschlossenen Nuten 18 und 19 müßte der Luftspalt den durch die Linien 32 und 33 angegebenen tatsächlichen Verlauf haben.) Die beiden Winkel  $\alpha$  und  $\gamma$  ergeben also zusammen einen Winkel  $\delta$ , innerhalb dessen der äquivalente Luftspalt in Drehrichtung gesehen zunimmt. Dieser äquivalente Luftspalt ist für die Form des Reluktanzmoments maßgebend. Zweckmäßig legt man diesen Winkel  $\delta$  so, daß der Hallgenerator 25 etwa in seiner Mitte oder um  $n \cdot 180^\circ$  elektrisch gegenüber dieser Mitte versetzt angeordnet ist, wobei  $n = 1, 2, \dots$  etc.

Die Fig. 1 bis 3 zeigen übereinstimmend den Rotor 11 in seiner stabilen Ruhestellung, in der die beiden Pole des Rotors jeweils Gebieten kleinen Luftspalts gegenüberliegen und die Lage der Pollücken 12, 13 etwa mit den Stellen 30 größten Luftspalts übereinstimmt, da in dieser Lage der magnetische Widerstand <sup>des</sup> Luftspalts <sup>insgesamt</sup> am geringsten ist.

Verdreht man den Rotor 11 um den Winkel  $\beta$  in Drehrichtung  $\frac{1}{2}$ <sup>4</sup> aus dieser stabilen Ruhelage, so muß man hierzu dem Rotor 11 von außen Energie zuführen, da sich der magnetische Widerstand im Luftspalt vergrößert, oder anders gesagt, der Rotor 11 wird durch ein Reluktanzmoment gebremst. Im Betrieb wird diese Energie durch den Strom in der Wicklung 20 oder 21 zugeführt.

Nach Verdrehung um den Winkel  $\beta$  erreicht der Rotor 11 die Lage nach Fig. 4, in der seine Polflächen 12 und 13 sozusagen auf den Stellen 34, 35 kleinsten äquivalenten Luftspalts reiten. In dieser Lage ist der magnetische Widerstand im Luftspalt am größten, d. h., hier ist die größte magnetische Energie im Motor gespeichert, und der Rotor 11 hat in dieser instabilen oder labilen Lage das Bestreben, sich in der einen oder der anderen Richtung so weit zu drehen, bis er wieder eine der beiden möglichen stabilen Lagen erreicht. Wird der Rotor 11 z. B. in Richtung des Pfeiles 14 weitergedreht, so gibt er auch ohne Zufuhr elektrischen Stromes ein Drehmoment ab, das bei geeigneter gleichmäßiger Ausbildung der Zunahme des äquivalenten Luftspalts eine praktisch konstante Amplitude hat.

Man erkennt also, daß ein bremsendes Reluktanzmoment etwa im Winkelbereich  $\beta$  vorhanden ist, in welchem die Polflächen 12, 13 über Gebiete abnehmenden äquivalenten Luftspalts hinweglaufen, und daß ein antreibendes Reluktanzmoment etwa im Winkelbereich  $\delta$  vorhanden ist, in welchem die Polflächen 12, 13 über Gebiete zunehmenden äquivalenten Luftspalts hinweglaufen, und man erkennt ferner, daß es wie dargestellt möglich ist, die für die Herstellung des Motors unvermeidlichen Nutöffnungen 18, 19 dadurch zu kompensieren, daß man den tatsächlichen Luftspalt im Bereich dieser Nutöffnungen verkleinert.

Zum Steuern des Stromes in den Wicklungen 20 und 21 abhängig von der Lage der Pole des Rotors 11 dient der Hallgenerator 25, dessen einer Steueranschluß über einen Widerstand 36 mit dem Pluspol 22 verbunden ist, während sein anderer Steueranschluß mit einer Minusleitung 37 einer Gleichspannungsquelle (z. B. 24 V)

verbunden ist. Die beiden Ausgänge des Hallgenerators 25 sind mit den Basen zweier npn-Transistoren 38 und 39 verbunden, deren Emitter mit der Minusleitung 37 verbunden sind, während der Kollektor des Transistors 38 mit dem Anschluß 24 und der Kollektor des Transistors 39 mit dem Anschluß 23 der Wicklung 20 bzw. 21 verbunden ist. Auf diese Weise wird bei der Umdrehung des Rotors 11 beim Vorbeilaufen des Südpols (wie in Fig. 1 und 2 dargestellt) am Hallgenerator 25 praktisch während des gesamten, symbolisch grau dargestellten Winkelbereichs der Transistor 39 und damit die Wicklung 20 eingeschaltet, und ebenso wird beim Vorbeilaufen des Nordpols praktisch während des gesamten, symbolisch schwarz dargestellten Winkelbereichs der Transistor 38 und damit die Wicklung 21 eingeschaltet. Der Strom in den Wicklungen 20 oder 21 ist also nur beim Vorbeilaufen der Polnischen 12 bzw. 13 am Hallgenerator 25 völlig unterbrochen und nimmt dann entsprechend der Zunahme der Induktion bis zu einem praktisch konstanten Maximalwert zu, wie das in Fig. 5b für die Ströme  $i_{38}$  und  $i_{39}$  in den Transistoren 38 und 39 dargestellt ist. In Verbindung mit der im Bereich der Rotorpole gemäß Fig. 5a praktisch konstanten Induktion ergibt sich ein praktisch konstantes elektromagnetisches Antriebsmoment  $M_{el}$ , wie es in Fig. 5c dargestellt ist. Dieses Moment hat nur relativ schmale Lücken 45. In diesen Lücken wird das antreibende Reluktanzmoment wirksam.

Fig. 5d zeigt den Verlauf des mit  $M_{rel}$  bezeichneten Reluktanzmoments über einer Rotorumdrehung. 46 ist die in den Fig. 1 bis 3 dargestellte stabile Rotorstellung bezeichnet, und mit 47 die in Fig. 4 dargestellte labile Rotorstellung. In beiden Fällen durchläuft das Reluktanzmoment den Wert 0. Man erkennt ferner den Bereich des mit 48 bezeichneten bremsenden Reluktanzmoments zwischen diesen Punkten 46 und 47, dessen Länge im wesentlichen durch den Winkel  $\beta$  bestimmt ist, und den an den Punkt 47 anschließenden Bereich des mit 49 bezeichneten antreibenden Reluktanzmoments, dessen Länge im wesentlichen durch den Winkel  $\delta$  bestimmt ist. An den Bereich 49 schließt sich wieder ein stabiler Punkt 50 und dann ein labiler Punkt 51 an, d. h., ein solcher Motor durchläuft pro Umdrehung zwei stabile und zwei labile



Rotorstellungen. Sieht man von den Ummagnetisierungsverlusten im magnetischen Kreis eines solchen Motors ab, so muß die zwischen den Punkten 46 und 47 gespeicherte magnetische Energie, die durch ein Minuszeichen symbolisch gekennzeichnet ist, gleich groß sein wie die zwischen den Punkten 47 und 50 abgegebene, symbolisch mit einem Pluszeichen bezeichnete magnetische Energie, d. h., wenn z. B. der Winkel  $\beta$  groß und der Winkel  $\delta$  klein gewählt wird, hat der Bereich 48 des Reluktanzmoments einen kleinen und der Bereich 49 einen großen Absolutwert seiner Amplitude.

Fig. 5e zeigt die Überlagerung der beiden Momente  $M_{el}$  und  $M_{rel}$ , welche zusammen ein praktisch konstantes Moment  $M_{ges}$  an der (nicht dargestellten) Ausgangswelle des Motors 10 ergeben. Um dies zu erreichen, müssen  $M_{el}$  und  $M_{rel}$  wie dargestellt spiegelbildlich zu einer Geraden 52 verlaufen, welche 50 % von  $M_{ges}$  entspricht. Naturgemäß läßt sich diese Bedingung in den seltensten Fällen genau erfüllen, doch hat es sich gezeigt, daß man mit Hilfe der Erfindung ein Ausgangsmoment erhalten kann, das einen weitgehend gleichförmigen Verlauf hat. Der Wert dieses Moments ist sozusagen in den Motor einprogrammiert, d. h., ein solcher Motor muß an den jeweiligen Anwendungsfall und das dort verlangte Moment ungefähr angepaßt sein, wenn man optimale Ergebnisse erzielen will.

Nach der Lehre der vorliegenden Erfindung kann man naturgemäß ebenso einen Innenläufermotor ausbilden, wobei dann Stator und Rotor in der Abwicklung dasselbe Bild ergeben, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Innenläufermotoren dieser Art sind in der zugehörigen Hauptanmeldung P 22 25 442.8 und in der Anmeldung P 23 14 259.8 dargestellt, weshalb eine gesonderte Darstellung in der vorliegenden Anmeldung nicht erforderlich ist.

7 STUTTGART 1, DEN 7. Juni 1973

PAPST-MOTOREN KG

7742 St. Georgen

Anwaltsakte: P61.32D50

A n s p r ü c h e

Nunmehr selbständige  
Patentanmeldung

1. Kollektorloser Gleichstrommotor mit zylindrischem Luftspalt (Innen- oder Außenläufermotor) und mit einem permanentmagnetischen Rotor, welcher Motor eine im Betrieb ein Lücken aufweisendes elektromagnetisches Antriebsmoment erzeugende Wicklung und Mittel zum Speichern von magnetischer Energie zur Überwindung dieser Momentenlücken aufweist, nach Patentanmeldung P 22 25 442.8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Motor, dessen Rotormagnetpole jeweils eine etwa trapezförmige Magnetisierung (Fig. 5a) mit schmalen Lücken (12, 13) zwischen den Polen aufweisen, der Winkelbereich der Rotordrehung in dem der Rotor (11) im Betrieb ein elektromagnetisches Antriebsmoment ( $M_{el}$ ) erfährt, etwa mit dem Winkelbereich ( $\beta$ ) zusammenfällt, in dem die Pollücken (12, 13) im Betrieb ein Gebiet in Drehrichtung abnehmenden äquivalenten Luftspalts (26, 27) durchlaufen, und daß der Winkelbereich der Rotordrehung, in dem der Rotor (11) im Betrieb kein elektromagnetisches Antriebsmoment erfährt, etwa mit dem Winkelbereich ( $\delta$ ) zusammenfällt, in dem die Pollücken (12, 13) im Betrieb ein Gebiet in Drehrichtung zunehmenden äquivalenten Luftspalts (32, 33) durchlaufen.
2. Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ausgleich des durch die Nuten (18, 19) des Stators (16) im Bereich derselben bewirkten Induktionsabfalls der tatsächliche Luftspalt dort verkleinert ist.

3. Motor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß im Betrieb an den Stellen, an denen die Pollücken den Stellen größten äquivalenten Luftspalts gegenüberliegen, der Motorstrom (Fig. 5b) jeweils größer als Null ist.
4. Motor nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gebiete (Winkelbereich  $\delta$ ) in Drehrichtung zunehmenden äquivalenten Luftspalts (32, 33) etwa symmetrisch zur Lage des Kommutierglieds, z. B. eines Halbleiter-Kommutierglieds nach Art eines Hallgenerators (25), und zu den von dieser Winkellage um  $n \cdot 180^\circ$  elektrisch entfernten Stellen verlaufen, wobei  $n = 1, 2, \dots$

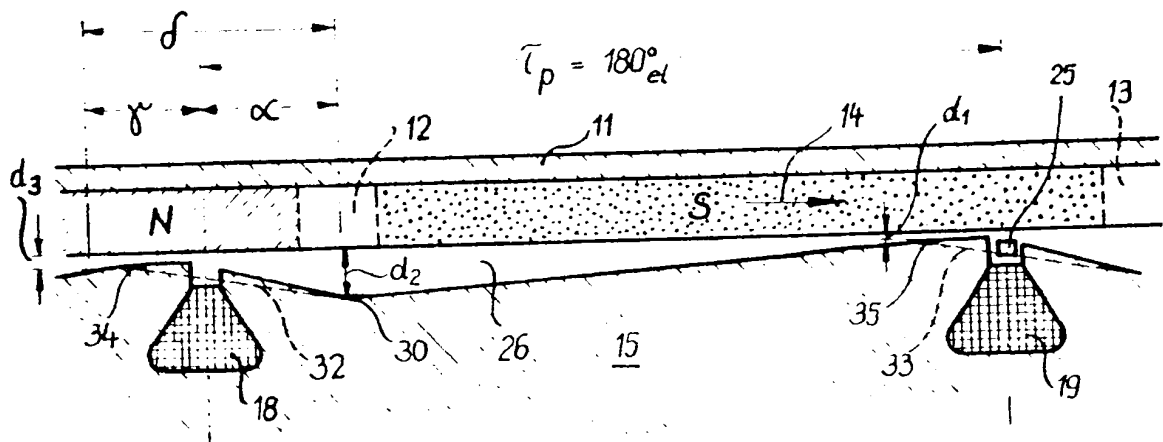
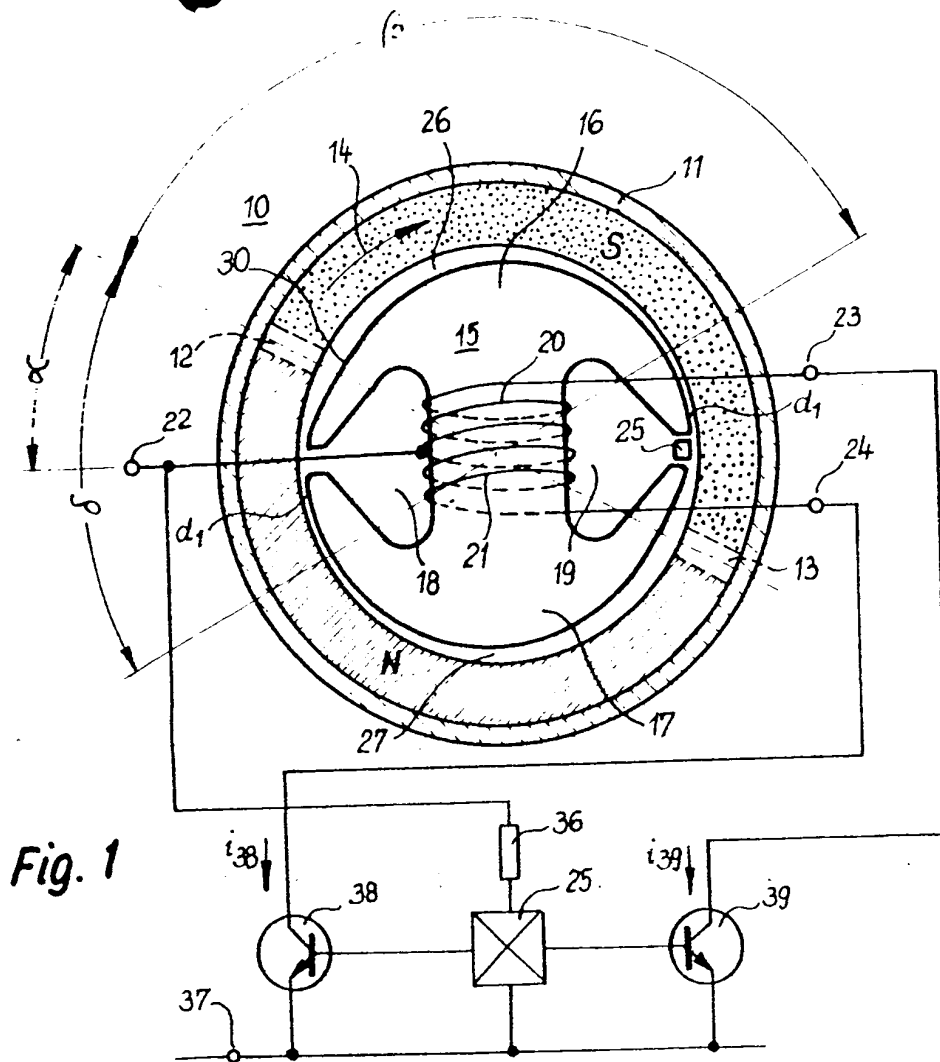


Fig. 2

409848/0694

21d1 39 AT:14.09.1973 OT:28.11.1974

stabil = Beginn der Bremsphase

13

—

instabil = Ende der Bremsphase

8/2  
11  
8

Fig. 4

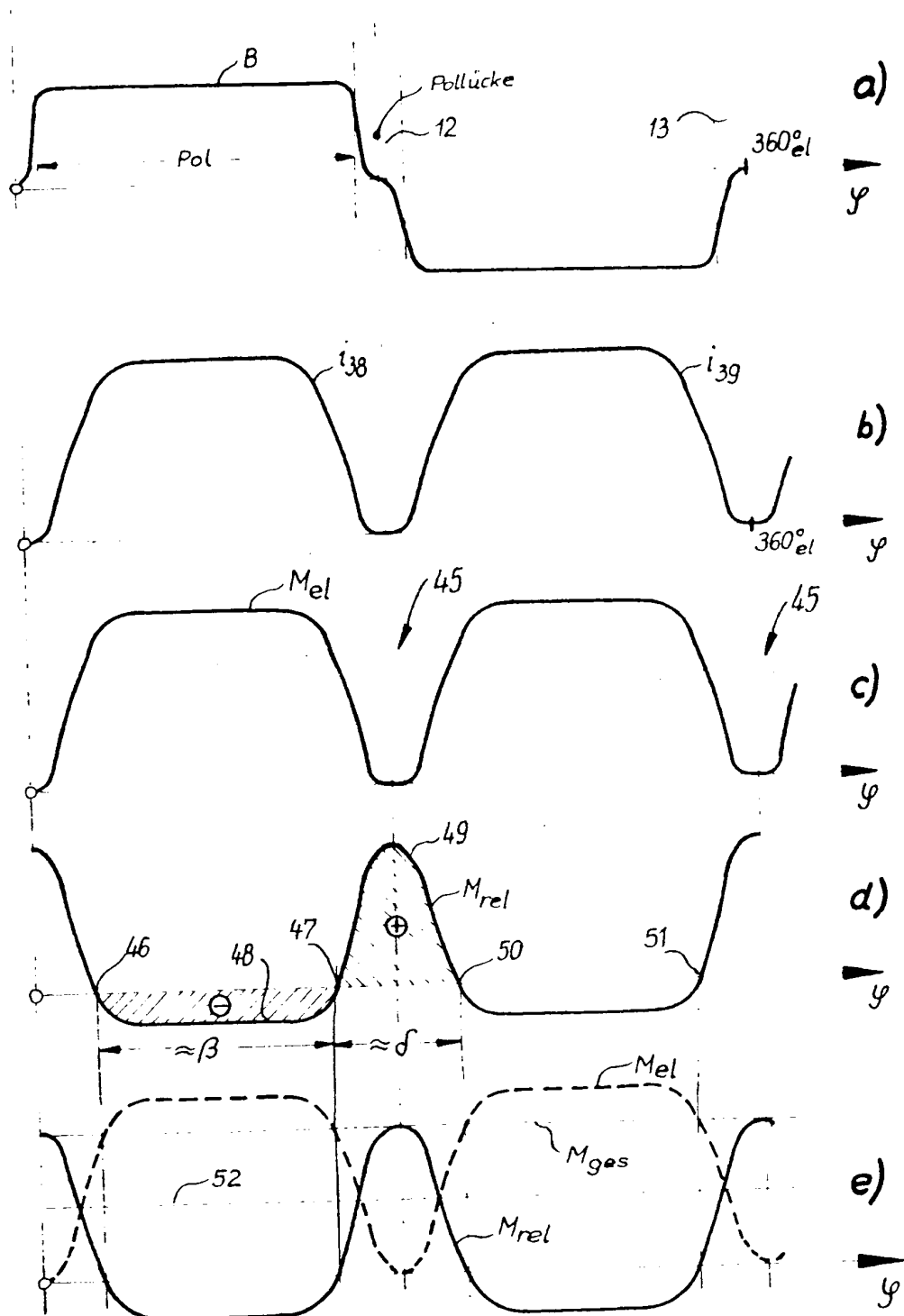


Fig. 5